

形状測定方法および高精度レンズの製造方法

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、非球面により構成されたレンズ、ミラーなどの光学素子等の表面形状を高精度に測定するための形状測定方法及び高精度レンズ製造に関する。

2. The Prior Art

近年、高精度の光学機器の需要に伴い、その機器を構成するレンズやミラー等の光学素子は高精度化する傾向にある。それに伴って、その光学素子の非球面形状を測定する非球面形状測定装置にも、同じように高い精度が求められるようになってきている。

被検物の非球面の近似球面からの乖離（以下、非球面量という）が小さい場合は、球面測定用のフィゾー干渉計や、ピンホールによる回折波面を基準とする点回折干渉計（特開平2-228505号公報）などの干渉計を用いて測定できる。

しかし、球面測定用フィゾー干渉計や点回折干渉計を用いて、非球面量が大きな非球面を測定する場合、非球面上の各位置によって曲率半径が異なるため、干渉縞間隔が粗になる領域は一部であり、残りの領域では干渉縞間隔は密になり測定が出来なくなる。

また、非球面用フィゾー干渉計を用いて測定する場合、非球面原器が用いられるが、高精度な非球面形状に加工された非球面用原器を得ることは、困難である。

そこで、本発明は従来のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、精度良く非球面レンズの非球面形状を測定することが可能な非球面形状測定方法及び高精度レンズ製造方法を提供することを目的とする。

SUMMARY OF THE INVENTION

前記課題を解決するために第一の手段として、被検面の面形状を測定する形状測定方法は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、所定の波面形状を有する参照用光束との干渉により生じる前記被検面に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の基準原器を用意し、前記検出器により該基準原器からの反射光と前記参

照用光束との干渉により生じる前記基準原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の検定用原器を用意し、前記検出器により、該検定用原器からの反射光と前記参照用光束との干渉により生じる前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

前記被検面に対する干渉縞の位相分布と、前記基準原器に対する干渉縞の位相分布とから算出された前記被検面の前記基準原器に対する形状差に、前記基準原器の所望の設計値からの形状差を補正する工程と、を有し

前記基準原器の所望の設計値からの形状差は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分とで表され、該回転対称誤差成分は、回転対称誤差高次成分と回転対称誤差低次成分とで表され、該回転対称誤差高次成分は、前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布と前記基準原器に対する干渉縞の位相分布との差のうち回転対称高次成分を抽出することにより算出する

前記課題を解決するために第二の手段として、被検面の面形状を測定する形状測定方法は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、所定の波面形状を有する参照用光束との干渉により生じる前記被検面に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の検定用原器を用意し、前記検出器により、該検定用原器からの反射光と前記参照用光束との干渉により生じる前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

前記被検面の所望の設計値からの形状差は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分とで表され、該回転対称誤差成分は、回転対称誤差高次成分と回転対称誤差低次成分とで表され、該回転対称誤差高次成分は、前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布と前記被検面に対する干渉縞の位相分布との差から回転対称高次成分を抽出することにより算出する工程を有する。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

【図1】第1実施形態の非球面形状測定装置の概略構成図である。

【図2】組み合わせる球面レンズとゾーンプレートとの配置間隔に $5\mu\text{m}$ の誤差がある状態における形状測定誤差を表したものである。

【図 3】第 1 実施形態の非球面形状測定の手順を示す図である。

【図 4】第 2 実施形態の非球面形状測定の手順を示す図である。

【図 5】第 3 実施形態の非球面形状測定装置の概略構成図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

以下、本発明の第 1 実施の形態の形状測定装置の図面を参照して説明する。

図 1 は、第 1 実施形態の非球面形状測定に用いられる形状測定装置 10 の概略を示す図である。

1 は光源、2 はビームエキスパンダー、3 は偏光ビームスプリッター、4 は 1/4 波長板、5 はフィゾー部材、6 は波面変換手段、7 は被検物（非球面レンズ）、

8 は基準原器、9 はビーム径変換光学系、11 は 2 次元画像検出器、12 は検定用原器、13 はコンピュータである。

本実施形態の形状測定装置 10 では、光源 1 から射出した直線偏光した光ビーム L はビームエキスパンダー 2 でビーム径を変換され、偏光ビームスプリッター（以下、PBS という）3 に入射する。この光ビーム L の偏光面は、PBS 3 で反射されるように選択されている。

PBS 3 で反射された光ビーム L は 1/4 波長板 4 を経て、フィゾー部材 5 へ入射する。フィゾー部材 5 に入射した光ビーム L は、フィゾー部材 5 の参照平面（フィゾー面）5a を透過する測定光 LM と、参照平面 5a で反射される参照光 LR とに分割される。

測定用光束 LM は、所定の位置に配置された被検物 7、基準原器 8、又は検定用原器 12 で反射され、再び波面変換手段 6、フィゾー部材 5、1/4 波長板 4 を経て PBS 3 へ入射する。測定用光束 LM は往復で 1/4 波長板を 2 度通過して偏光面が 90 度回転しており、PBS 3 を透過する。PBS 3 を透過した測定用光束 LM はビーム径変換光学系 9 でビーム径を変換され、2 次元画像検出器 11 に入射する。一方、フィゾー部材 5 で反射した光束は参照用光束 LR として用いられる。参照用光束 LR は、1/4 波長板 4 を経て、PBS 3 を透過し、2 次元画像検出器 11 に入射し、測定用光束 LM と参照用光束 LR の干渉縞が検出される。

検定用原器 1 2 として用いられる反射型ゾーンプレートは、その描画パターンに倍率誤差が存在しても、ほとんどが低次の測定誤差となるので、基準原器 8 の形状誤差のうち回転対称誤差高次成分を高精度に検定することができる。

反射型ゾーンプレートのパターンピッチが細くなるほど、パターン誤差の測定への影響が大きくなる。そこで、反射型ゾーンプレートと球面レンズを組み合わせ、パターンピッチを粗くすることができる。この場合、組み合わせる球面レンズの曲率半径、中心厚や空気間隔の誤差が測定誤差となりうる。しかし、この測定誤差は、ほとんどが低次成分であり、高次成分は高精度に検定することができる。

この様子を図 2 を例に説明する。図 2 は、組み合わせる球面レンズと反射型ゾーンプレートとの配置間隔に $5 \mu\text{m}$ の誤差がある状態と理想状態との得られる干渉縞位相分布の差、即ち形状測定誤差を表したものである。

実線が回転対称誤差成分を示し、点線がその回転対称誤差成分のうち回転対称誤差高次成分（低次成分を除いたもの）を示している。図 2 により、球面レンズと反射型ゾーンプレートとの間隔の誤差が、回転対称誤差高次成分に影響しないことを示している。この性質は、配置間隔だけでなく、曲率半径や中心厚にも当てはまることである。

検定用原器 1 2 としては、代表的に、反射型の位相ゾーンプレートが用いられるが、設計形状に相当する波面を入射した場合、同じ波面を維持した状態で反射する機能を果たせばよいので、その様な機能を果たす反射平面や反射球面と球面レンズを組み合わせた光学系であってもよい。この場合も、曲率半径、中心厚や空気間隔の誤差の影響は低次成分に及ぼされるのみなので、基準原器 8 の回転対称誤差高次成分を高精度に検定することが可能になる。

波面変換手段 6 は、入射波面が被検物 7 の非球面 7 a、又は基準原器 8 に対して、概ね垂直に同位相で入射する波面に変換するように設計されている。

フィゾー部材 5 の不図示の保持機構には、ピエゾ素子が設けられている。このピエゾ素子により、フィゾー部材 5 を光軸方向に微小に移動させて、周知の位相シフト干渉法により、高精度に被検物 7、基準原器 8、検定用原器 1 2 に対する干渉縞の位相分布を測定することができる。

また、被検物7、基準原器8又は検定用原器12の不図示の保持機構に、ビエゾ素子を設けてもよい。このビエゾ素子により、被検物7、基準原器8又は検定用原器12を光軸方向に微小に移動させて、周知の位相シフト干渉法により、高精度に被検物7、基準原器8、検定用原器12に対する干渉縞の位相分布を測定することができる。

ビーム径変換光学系9は、被検物7の非球面7aの像を2次元画像検出器11に結像する役割も兼ねており、非球面の形状を正確に検出するために、歪曲収差を抑えた設計が好ましい。

歪曲収差の設計値や実測値を用いて、干渉縞の横座標を補正することにより、非球面上の座標と2次元画像検出器11上での座標とを正確に関係付けることができる。

本発明の実施形態にかかる非球面形状測定方法の手順を図3を参照しながら説明する。

被検物7である非球面レンズの形状差（非球面設計値からの形状差）は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分とからなる。

その回転対称誤差成分は、被検面上の座標に対して緩やかに変化する成分（以下、低次成分という）と残差成分（以下、高次成分という）との2つの成分の和として表される。

回転対称誤差低次成分を被検面上の座標の2次と4次の関数 $\delta(y) = a_2 \cdot y^2 + a_4 \cdot y^4$ で表す。

なお、6次項まで用いたり、周知のZernike多項式の低次成分（ $\delta'(\rho) = b_0 + b_1(2\rho^2 - 1) + b_2(6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$ ）を用いることも可能である。

被検物7の非球面形状の所望の設計値からの形状差は、基準原器8（非球面レンズ用）を用いて測定する。

即ち、被検物7の非球面に対する干渉縞の位相分布と、基準原器8に対する干渉縞の位相分布との比較により、被検非球面の基準原器8に対する位相分布差（以下、形状差という） $\Delta W'$ を算出し、後述する基準原器8の設計値に対する形状差（後述する（A）（B）（C））を補正することにより、被検非球面形状の設計値に対する形状差を算出する。

位相分布の測定は、周知の位相シフト干渉法を用いることが好ましい。

形状差 $\Delta W'$ は、形状測定装置10のコンピュータ13により算出され、基準原器8の誤差補正值は、コンピュータ13内に予め入力されている。

その場合、基準原器8（非球面レンズ用）の所望の設計値に対する形状差（回転対称誤差高次成分（A）、回転対称誤差低次成分（B）、回転非対称誤差成分（C））を測定しておく必要がある。

（1）まず、基準原器8の設計値に対する形状差のうち、回転対称誤差高次成分は、以下の方法により測定する。

①検定用原器12を非球面形状測定装置10の所定の保持位置に設定する。

②検定用原器12の位相分布WAを測定する。

位相分布の測定は、周知の位相シフト干渉法を用いる。

③基準原器8を非球面形状測定装置10の所定の保持位置に設定する。

④基準原器8の位相分布WBを測定する。

⑤検定用原器12の位相分布WAと基準原器8の位相分布WBとの差である基準原器8の検定用原器12に対する形状差 ΔW を算出する。

形状差 ΔW のうち、回転対称成分（ ΔW_r ）を抽出し、前述した $\delta(y)$ 関数でフィッティングを行い、2次、4次成分（低次成分）とそれ以外の成分（高次成分）に分離する。

これにより回転対称高次成分 ΔW_{rh} を算出する。

⑥この回転対称高次成分 ΔW_{rh} に、検定用原器12の設計値からの回転対称誤差高次成分 ΔW_x を補正して、基準原器8の設計値からの回転対称誤差高次成分（A）を算出する。

$$A = \Delta W_{rh} + \Delta W_x$$

検定用原器12の設計値からの回転対称誤差高次成分 ΔW_x は、検定用原器12として反射型の位相ゾーンプレートを用いた場合、パターン平面の面精度の測定と座標測定機を用いたパターン位置測定結果より算出する。

（2）基準原器8の設計値に対する形状差のうち、回転対称誤差低次成分（B）は、触針式の形状測定装置により測定し、その測定値から回転対称誤差成分（ ΔW_r ）を抽出し、前述した $\delta(y)$ 関数でフィッティングを行い、2次、4次成分

(低次成分)とそれ以外の成分(高次成分)に分離することにより算出する。

(3) 基準原器 8 の設計値に対する形状差のうち、回転非対称誤差成分 (C) は、基準原器 8 を基準位置から単位回転角度 θ だけ回転する毎に測定した複数の位相分布を平均化処理することにより高精度の測定することができる。

(4) 基準原器 8 の設計値に対する形状差は、前述した (1) (2) (3) から算出した回転対称誤差高次成分 (A) と回転対称誤差低次成分 (B) と回転非対称誤差成分 (C) との和である。

次に、本発明の第 2 の実施形態にかかる非球面形状測定方法の手順を図 4 を参照しながら説明する。

前述したように被検物 7 である非球面レンズの形状差 (非球面設計値からの形状差) は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分からなり、回転対称誤差成分は、回転対称誤差高次成分と回転対称誤差低次成分からなる。

回転対称誤差高次成分は、検定用原器 1 2 を用いて測定する。

即ち、被検面の検定用原器に対する形状差のうちの回転対称高次成分に検定用原器 1 2 の設計値からの回転対称誤差高次成分を補正することにより算出する。

(1) まず、被検面の設計値に対する形状差のうち、回転対称誤差高次成分

(D) は、以下の方法により測定する。

① 検定用原器 1 2 を非球面形状測定装置 1 0 の所定の保持位置に設定する。

② 検定用原器 1 2 の位相分布 WA を測定する。

位相分布の測定は、周知の位相シフト干渉法を用いる。

③ 被検物 7 を非球面形状測定装置 1 0 の所定の保持位置に設定する。

④ 被検面の位相分布 WC を測定する。

⑤ 検定用原器 1 2 の位相分布 WA と被検面の位相分布 WC との差である被検面の検定用原器 1 2 に対する形状差 ΔH を算出する。

形状差 ΔH のうち、回転対称成分 (ΔH_r) を抽出し、前述した $\delta(y)$ 関数でフィッティングを行い、2 次、4 次成分 (低次成分) とそれ以外の成分 (高次成分) に分離する。

これにより回転対称高次成分 ΔH_{rh} を算出する。

⑥ この回転対称高次成分 ΔH_{rh} に、前述した検定用原器 1 2 の設計値からの回転

対称誤差高次成分 ΔW_x を補正して、

被検面の設計値からの回転対称誤差高次成分 (D) を算出する。

$$D = \Delta H_{rh} + \Delta W_x$$

検定用原器 12 の設計値からの回転対称誤差高次成分 ΔW_x は、検定用原器 12 として位相ゾンプレートを用いた場合、パターン平面の面精度の測定と座標測定機を用いたパターン位置測定結果より算出する。

(2) 被検面の設計値に対する形状差のうち、回転対称誤差低次成分 (E) は、被検面を触針式の形状測定装置により測定し、その測定値から回転対称誤差成分を抽出し、前述した $\delta(y)$ 関数でフィッティングを行い、2 次、4 次成分 (低次成分) とそれ以外の成分 (高次成分) に分離することにより算出する。

(3) 被検面の設計値に対する形状差のうち、回転非対称誤差成分 (F) は、被検物 7 を基準位置から単位回転角度 θ だけ回転する毎に測定した複数の位相分布を平均化処理することにより高精度の測定することができる。

(4) 被検面の設計値に対する形状差は、前述した (1) (2) (3) から算出した回転対称誤差高次成分 (D) と回転対称誤差低次成分 (E) と回転非対称誤差成分 (F) との和である。

次に、本発明の第 3 の実施形態にかかる非球面形状測定方法の手順を図 4 を参照しながら説明する。

図 5 は、第 3 実施形態の非球面形状測定に用いられる形状測定装置 20 の概略を示す図である。

第 1 実施形態の形状測定装置の構成と同様の構成部分には同じ符号を付したの
で重複説明を省略し、異なる部分についてのみ説明する。

第 3 実施形態の形状測定装置 20 は、波面変換手段 16 と被検物 7 の間にフィ
ゾー部材 15 を配置する。

波面変換手段 16 は、フィゾー部材 15 の非球面フィゾー 15a に垂直かつ同
位相で入射する光束に変換する。

また、非球面フィゾー 15a を透過した光は、被検面に対しても垂直かつ同位
相で入射する。

(1) まず、被検面の設計値に対する形状差のうち、回転対称誤差高次成分

(D) は、以下の方法により測定する。

①検定用原器 1 2 を非球面形状測定装置 2 0 の所定の保持位置に設定する。

②検定用原器 1 2 の位相分布 WD を測定する。

位相分布の測定は、周知の位相シフト干渉法を用いる。

③被検物 7 を非球面形状測定装置 2 0 の所定の保持位置に設定する。

④被検面の位相分布 WE を測定する。

⑤検定用原器 1 2 の位相分布 WD と被検面の位相分布 WE との差である被検面の検定用原器 1 2 に対する形状差 ΔH を算出する。

形状差 ΔH のうち、回転対称成分 (ΔH_r) を抽出し、前述した $\delta(y)$ 関数でフィッティングを行い、2 次、4 次成分 (低次成分) とそれ以外の成分 (高次成分) に分離する。

これにより回転対称高次成分 ΔH_{rh} を算出する。

⑥この回転対称高次成分 ΔH_{rh} に、前述した検定用原器 1 2 の設計値からの回転対称誤差高次成分 ΔW_x を補正して、

被検面の設計値からの回転対称誤差高次成分 (D) を算出する。

$$D = \Delta H_{rh} + \Delta W_x$$

検定用原器 1 2 の設計値からの回転対称誤差高次成分 ΔW_x は、検定用原器 1 2 として反射型の位相ゾンプレートを用いた場合、パターン平面の面精度の測定と座標測定機を用いたパターン位置測定結果より算出する。

(2) 被検面の設計値に対する形状差のうち、回転対称誤差低次成分 (E) は、以下の方法により算出する。

前述した (1) ④で測定した被検面の位相分布 WE には、フィゾー部材 1 5 の非球面 1 5 a の設計値に対する形状差と被検面の設計値に対する形状差の双方が混在している。

被検面の位相分布 WE から回転対称成分を抽出し、前述した $\delta(y)$ 関数でフィッティングを行い、回転対称低次成分 (ΔK_{rl}) を分離する。

フィゾー部材 1 5 の非球面 1 5 a の設計値に対する形状誤差のうち、回転対称誤差低次成分 (ΔJ_{rl}) は、触針式の形状測定装置により測定し、その測定値から回転対称誤差成分 (ΔJ_r) を抽出し、前述した $\delta(y)$ 関数でフィッティング

を行い、2次、4次成分（低次成分）とそれ以外の成分（高次成分）に分離することにより算出する。

被検面の設計値からの回転対称誤差低次成分（E）は、測定値から算出した回転対称低次成分 ΔK_{rl} にフィゾー部材15の設計値からの回転対称誤差低次成分 ΔJ_{rl} を補正することにより算出する。

（3）さらに、被検面の設計値に対する形状差のうち、回転非対称誤差成分（F）は、被検面の位相分布WEから抽出された回転非対称成分にフィゾー部材15の非球面15aの回転非対称誤差成分を補正して算出する。

フィゾー部材15の非球面15aの回転非対称誤差成分は、フィゾー部材を基準位置から単位回転角度 θ だけ回転する毎に測定した複数の位相分布を平均化処理することにより測定する。

（4）被検面の設計値に対する形状差は、前述した（1）（2）（3）から算出した回転対称誤差高次成分（D）と回転対称誤差低次成分（E）と回転非対称誤差成分（F）との和である。

以上のように、本実施形態では、被検物7として非球面レンズを用いて説明したが、球面レンズに対しても適用できることは、言うまでもない。

実施形態の形状測定方法は、高精度レンズの製造工程中で用いられる。

被検物7の設計値に対する形状差は、実施形態の形状測定方法により測定し、設計値からの形状差を公知の加工、研磨方法により研磨する。

研磨後、再度、被検物7の設計値に対する形状差を、実施形態の形状測定方法により測定する。

このような工程を、被検物7の設計値に対する形状差が、許容範囲内に収まるまで行う。

以上説明したとおり、本発明の実施形態の非球面形状測定方法によれば、非球面量が大きな非球面レンズであっても高精度に形状を測定することができる。

また、非球面形状を高精度に測定することによって、高精度なレンズを製造することも可能である。

What is claimed is

1. 被検面の面形状を測定する形状測定方法は、

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、所定の波面形状を有する参照光束との干渉により生じる前記被検面に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の基準原器を用意し、前記検出器により該基準原器からの反射光と前記参照光束との干渉により生じる前記基準原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の検定用原器を用意し、前記検出器により、該検定用原器からの反射光と前記参照光束との干渉により生じる前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

前記被検面に対する干渉縞の位相分布と、前記基準原器に対する干渉縞の位相分布とから算出された前記被検面の前記基準原器に対する形状差に、前記基準原器の所望の設計値からの形状差を補正する工程と、を有し

前記基準原器の所望の設計値からの形状差は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分とで表され、該回転対称誤差成分は、回転対称誤差高次成分と回転対称誤差低次成分とで表され、該回転対称誤差高次成分は、前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布と前記基準原器に対する干渉縞の位相分布との差のうち回転対称高次成分を抽出することにより算出する。

2. 請求項1記載の形状測定方法は、

前記検定用原器が、反射型回折光学素子、又は反射型回折光学素子及び光学素子からなる素子群である。

3. 請求項1記載の形状測定方法は、

前記回転対称誤差低次成分が、前記被検面上の座標の偶数べき級数で4次以下の次数の級数である。

4. 請求項1記載の形状測定方法は、

前記回転対称誤差低次成分が、前記被検面上の座標の偶数べき級数で6次以下の次数の級数である。

5. 請求項1記載の形状測定方法は、前記被検面が、非球面である。

6. 高精度レンズの製造方法は、請求項1記載の形状測定方法を用いて、形状を測定する工程を有する。

7. 被検面の面形状を測定する形状測定方法は、

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、所定の波面形状を有する参照用光束との干渉により生じる前記被検面に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の基準原器を用意し、前記検出器により該基準原器からの反射光と前記参照用光束との干渉により生じる前記基準原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の検定用原器を用意し、前記検出器により、該検定用原器からの反射光と前記参照用光束との干渉により生じる前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

前記被検面に対する干渉縞の位相分布と、前記基準原器に対する干渉縞の位相分布とから算出された前記被検面の前記基準原器に対する形状差に、前記基準原器の所望の設計値からの形状差を補正する工程と、を有し、

前記基準原器の所望の設計値からの形状差は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分とで表され、該回転対称誤差成分は、回転対称誤差高次成分と回転対称誤差低次成分とで表され、該回転対称誤差高次成分は、前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布と前記基準原器に対する干渉縞の位相分布との差のうち回転対称高次成分を抽出し、前記検定用原器の設計値からの回転対称誤差高次成分を補正することにより算出する。

8. 被検面の面形状を測定する形状測定方法は、

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、所定の波面形状を有する参照用光束との干渉により生じる前記被検面に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の検定用原器を用意し、前記検出器により、該検定用原器からの反射光と前記参照用光束との干渉により生じる前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

前記被検面の所望の設計値からの形状差は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分とで表され、該回転対称誤差成分は、回転対称誤差高次成分と回転対称誤差低次成分とで表され、該回転対称誤差高次成分は、前記検定用原器に対する干

渉縞の位相分布と前記被検面に対する干渉縞の位相分布との差から回転対称高次成分を抽出することにより算出する工程を有する。

9. 請求項 8 記載の形状測定方法は、

前記検定用原器が、反射型回折光学素子、又は反射型回折光学素子及び光学素子からなる素子群である。

10. 請求項 8 記載の形状測定方法は、

前記回転対称誤差低次成分が、前記被検面上の座標の偶数べき級数で 4 次以下の次数の級数である。

11. 請求項 8 記載の形状測定方法は、

前記回転対称誤差低次成分が、前記被検面上の座標の偶数べき級数で 6 次以下の次数の級数である。

12. 請求項 8 記載の形状測定方法は、前記被検面が、非球面である。

13. 高精度レンズの製造方法は、請求項 8 記載の形状測定方法を用いて、形状を測定する工程を有する。

14. 被検面の面形状を測定する形状測定方法は、

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、所定の波面形状を有する参照用光束との干渉により生じる前記被検面に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

所定の検定用原器を用意し、前記検出器により、該検定用原器からの反射光と前記参照用光束との干渉により生じる前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布を測定する工程と、

前記被検面の所望の設計値からの形状差は、回転対称誤差成分と回転非対称誤差成分とで表され、該回転対称誤差成分は、回転対称誤差高次成分と回転対称誤差低次成分とで表され、該回転対称誤差高次成分は、前記検定用原器に対する干渉縞の位相分布と前記被検面に対する干渉縞の位相分布との差から回転対称高次成分を抽出し、前記検定用原器の設計値からの回転対称誤差高次成分を補正する工程を有する。